Safety Document of the National Institute of Industrial Safety, NIIS-SD-NO.16 (1999)
UDC 331.461:658.5:62-192:614.8:330.131

工作機械関連作業のリスク低減のための アセスメント手法に関する調査

粂川　壮一*，　杉本　旭*，　梅崎　重夫*

1．はじめに

近年，我が国の産業界では，機械設備の安全に関連した国際規格として ISO12100（機械の安全性－設計のための一般原則）[1] とその関連規格（図1参照）が注目を集めている。

このうち，基本安全規格である ISO12100 は，今後 JISB9701 としての採用も予定されている。また，労働省では，この規格に基づく安全基準として「機械類の包括的安全基準」の検討を進めており，今後の我が国ではこの規格に基づく安全方策が必須と考えられる。

このうち，現在検討が進められている労働省の包括的安全基準では，機械設備を対象としたリスクアセスメント手法の検討が最重要事項となっている。しかし，現状では，国際規格に規定されたリスクアセスメント手法は，我が国の産業現場では広く知られるには至っていない。

そこで，本報では，今後の我が国で国際水準のリスクアセスメント手法を実施する際の参考資料として，ISO12100 に規定されたリスク低減戦略の概要を示した。また，リスクアセスメントに関する代表的な国際安全規格として ISO14121（Safety of machinery － Principles of risk assessment）[2] などを選定し，実際の機械設備を対象とした危険源リスト及びリスク評価のあり方に関する調査及び分析を実施した。

2．ISO12100 に基づくリスク低減戦略

危険な機械に対しては，災害を発生させないための確実な防止対策が必要である。しかし，この対策を機械の使用者だけで実施するには限界がある。このため，国際規格である ISO12100 では，危険な機械に対する安全方策は原則として製造者が実施し，なお残る残存リスクに対してのみ機械の使用者が対策を行うように規定している。

この具体的な手順は，当該規格の第1部，第5章「リスク低減のための戦略」で次のように規定されている（図2参照）。

機械の各種制限及び意図する使用を明確にする（上記 ISO 規格の 5.1 節参照）。

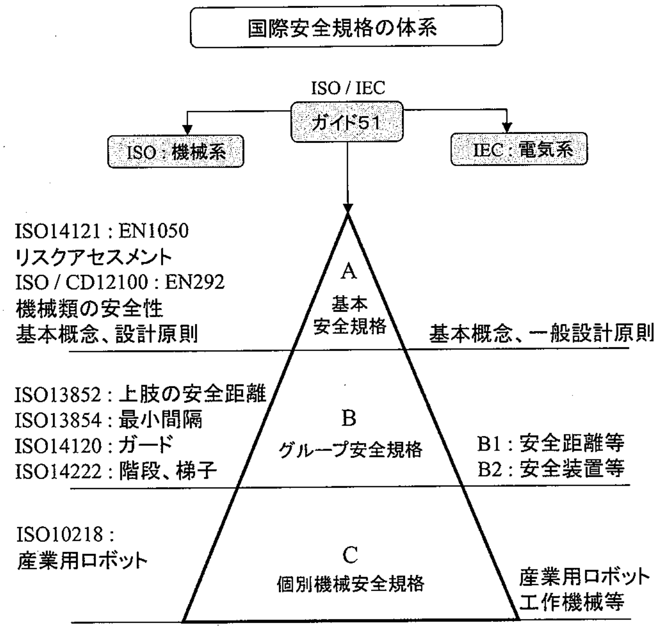


図1　機械安全に関する国際規格の階層構成
（産業用ロボットを例とする）

＊　機械システム安全研究部　　Mechanical and System Safety Research Division

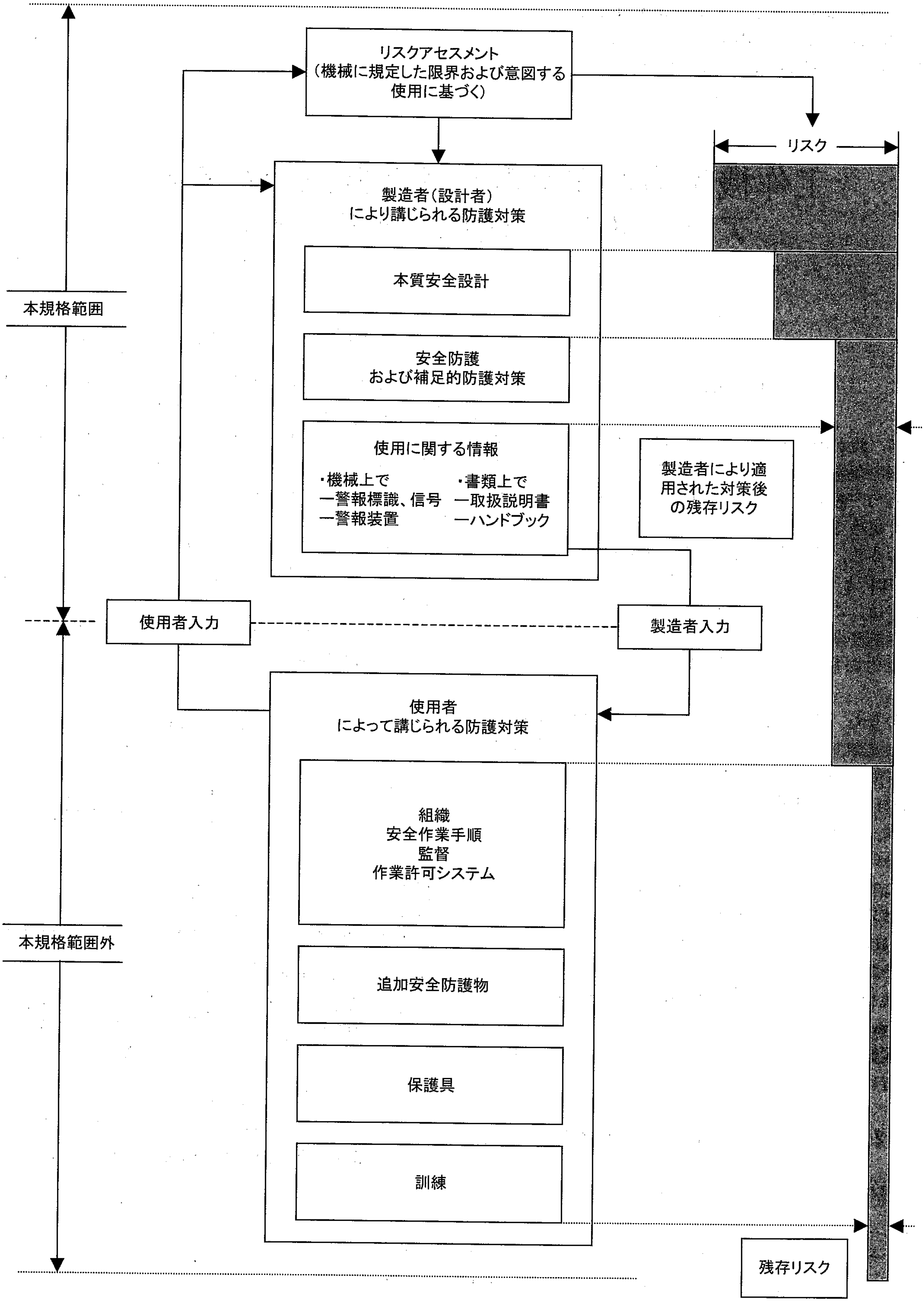


図２ ISO12100 に基づくリスク低減戦略（文献１参照）

機械によって引き起こされる可能性のある種々の危険源(傷害または健康障害を引き起こす根源を特定する（同第4章及び5.2節参照)。

特定された危険源によるリスクを見積もる（同5.2節参照)。

リスクを評価し，リスク低減の必要性について決定する（同5.2節参照)。

本質安全設計によってリスクを除去または低減する（同5.3節参照)。

本質安全設計によって十分に除去し得ないリスクに対しては，安全防護物（ガード又は防護装置）および／または追加の安全方策を講じることによってリスクを低減させる（同5.4節参照)。

残存リスクに関しては使用者に対し情報の提供を行い，かつ警告する（同5.5節参照)。

以上の実施にあたっては，特に次の点に留意しなければならない。

1）機械の使用上の制限の決定

機械を設計する際に，使用目的や使用方法，可動範囲や設置方法などの空間的制限，機械的寿命などの時間的制限を定めないで安全方策を実施するのは不可能に近い。

そこで，ISO12100 では，機械の設計にあたってはまずこれらの使用上の制限を定めるべきことを規定している。

表1は，この過程で配慮すべき事項の一覧表である

2）危険源の特定

機械によって生じる危険源の種類には，挟まれ・巻き込まれなどの機械的危険だけでなく，感電などの電気的危険，やけどなどの熱的危険，騒音・振動，材料・物質による危険やこれらの組み合わせなどが考えられる。

具体的な危険源は ISO14121 の付属書 A に詳述されている。

3）リスクの推定と評価

リスクの推定にあたっては次の式を用いる。

リスク＝（危険源による傷害のひどさ）と
（傷害が起きる可能性）の関数 (1)

リスクを推定した結果，許容可能（補足1参照）なレベルまでリスクが低減したことが確認できたとき，リスク低減策を終了する（**図3**参照)。

許容可能なレベルまでリスクが低減できないときは，以下の本質安全設計や安全防護物の設置を行う。

表1　機械の使用上の制限の決定にあたって配慮すべき事項の例

No.	項　目	配　慮　す　べ　き　事　項	
1	機械のライフサイクルと人とのかかわり	使用材料，運搬，設置（組立・据付・調整)，使用（段取り・運転・点検・清掃・保全)，使用中止，解体及び廃棄	
2	機械の設計仕様上の制限	使用上の制限	意図する使用，合理的に予見可能な機械の誤使用，機能不良を生じたときの対応
		スペース上の制限	可動部分の運動範囲，機械の据え付けスペース等
		時間的制限	機械や構成品（刃物類・消耗部品・電気部品等）の交換時期
3	危険源に暴露される可能性のある者について	性別，年齢，身体的な機能限界（視覚・聴覚の減退・体力等）など	
		オペレータ（保全作業員や技術者を含む)・見習い・初心者の教育訓練・経験・能力のレベル	
		見学者等の第三者	

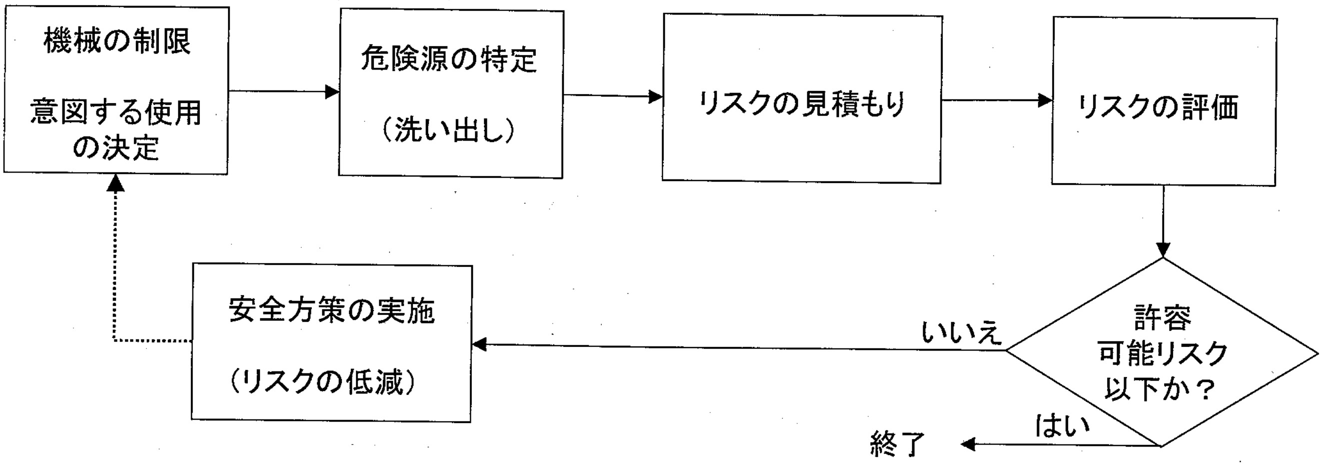


図3 リスクアセスメントの手順

4）本質安全設計の実施

本質安全設計とは，危険源を除去するか，または安全防護物を使用せずに危険源に関連するリスクを低減するかのいずれかの設計をいう。

具体的には次のような方法がある。

(a) 鋭利な端部，縁部，角部，突出部等はあらかじめ除去する。
(b) 機械の挟圧危険部の隙間を人体やその一部が進入できない程度まで狭くする。
(c) 機械の危険な可動部が発生する力を人体に危害を及ぼさない程度まで低減する。
(d) 機械の可動部が持っている運動エネルギを制限する。
(e) 圧力制御弁の設置による機械的応力の制限，くり返し応力による疲労破壊の回避，回転体の静的・動的バランスの適正化，腐食・経年劣化，摩耗，毒性などを考慮した材料の選択を行う。
(f) 工程，作業方法，材料の変更等を行って危険・有害作業を排除する。
(g) 自動化等によって作業者が機械の危険源に暴露される頻度を低減する。

5）安全防護物の適用

本質安全設計によって十分に除去し得ないリスクは，ガード類や安全装置などのの安全防護物を適用してリスクを低減する。これには，固定ガードや可動ガード，光線式安全装置や両手操作式安全装置などがある。

6）補足的防護方策の実施

使用上の情報を含む一連の安全方策を実施した後，さらに非常事態などに対処するための追加の安全方策である。具体的には，次のようなものがある。

(a) 消火設備や有害物質の漏洩などの非常事態への対応。
(b) 非常停止装置の設置。
(c) 機械に捕捉された人の救助・脱出のための対策。

7）使用上の情報の提供

残存リスクを広く受け入れ可能なリスクにまで低減するために，機械の製造者は使用者に対して使用上の情報を提供しなければならない。

この情報の提供は，あくまでも次善の策であり，本質安全設計の実施や安全防護物の適用に代わるものではない。

3．危険源リストに関する調査及び分析

具体的な危険源は，ISO14121 の付属書 A に一覧表として作成されている。本報告書の付表に，その一覧表を示す。

このうち，機械的危険源は，欧州安全規格（ＥＮ規格）の基礎となった英国安全規格 BS5304 [3] に基づいて作成されたものである。図 4 に，その一覧表を示す。

重要なのは，今後の我が国で危険源分析を行う際に ISO14121 の付属書 A が標準化された危険源リストになると考えられることである。実際，欧州安全規格では，ISO14121 の付属書 A との対応関係を示した上で各個別安全規格毎に危険源リストを示している。ここでは，液圧プレス（prEN693）[4] とローダークレーン（prEN12999）[5] の例を表 2 と表 3 に示した。

図4　BS5304に記載された機械的危険源の一覧表　（文献3参照）

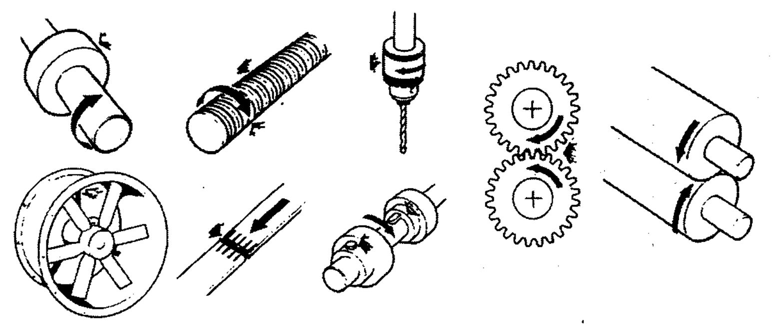
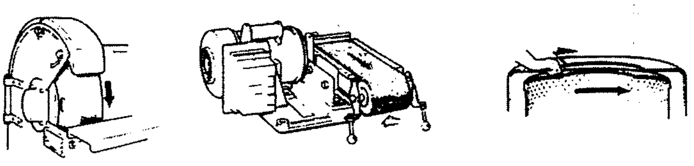
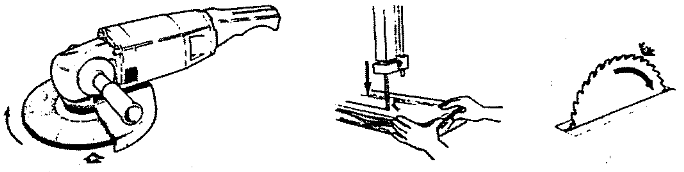
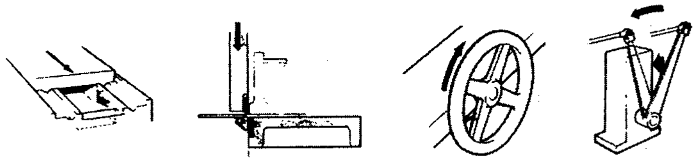
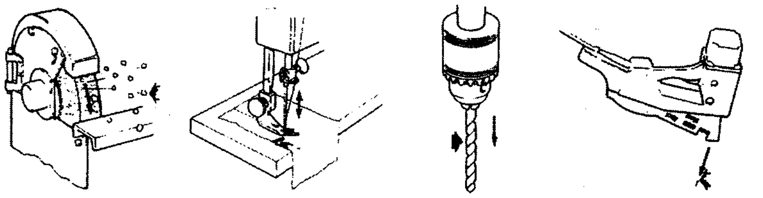
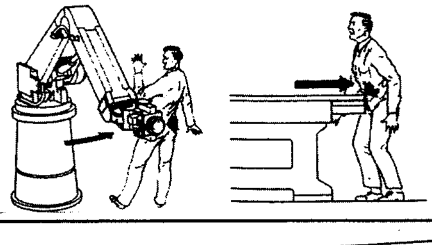
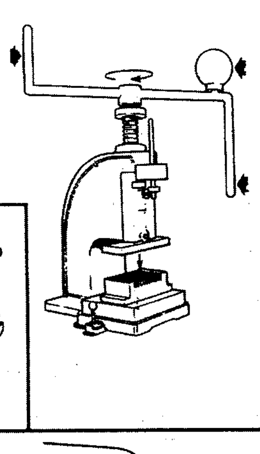
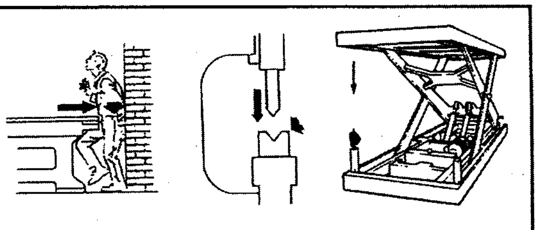
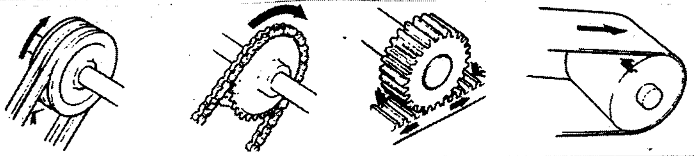
危険状態		危険箇所
1	からまれ	
2	摩擦および摩耗	
3	切断	
4	せん断	
5	突刺しおよび穴あけ	
6	衝撃	 
7	挟圧	
8	引っ張り込み	

表2　prEN693に記載された液圧プレスの危険源リスト（文献4参照）

ＩＳＯ 14121 付属書Aの危険源		危　険　状　態	危　険　区　域
1	機械的	衝突 せん断 切断・裁断 巻き込み 引き込み・落込み	工具の領域 －　動く工具の間 －　動くスライド －　動くダイクッション －　加工物エジェクタ －　防護板 電気，油圧，空気圧装置の動く部品 モータと駆動機械類 機械的ハンドリング装置
		突出し	機械の構成部品 加工物と工具
		高圧流体噴出	油圧システム
		滑り，つまづき，落下	高所でのすべての作業 プレス機械周辺の床領域
2	電気的	直接接触	電気装置
		間接的接触 熱放射（火傷）	電気装置 漏電した装置の通電部品
3	熱的	火傷	油圧システム
4	騒音	難聴を引起こす	プレス機の周辺で聴覚に危険性のある領域すべて
5	振動		危険性を帯びたプレス機械の部分，例えば作業場
7	機械類で加工使用消費された材料物質	例えば，有害な流体ガスミスト，ヒューム粉塵との接触吸入	油圧系 空気圧系とその制御装置 加工物の有毒な材料
		火災または爆発	排気換気装置
8	人間工学原理の無視	人の性格や能力と機械との不適合，例えば不康な姿勢や過労	作業員と工具を扱う保全員のための作業位置と制御盤

表3 prEN12999に記載されたローダークレーンの危険源リスト(文献5参照)

ISO 14121付属書Aの危険源		危　険　状　態
1	機械的	1.1 押しつぶし
		1.2 せん断
		1.3 切傷または切断
		1.4 巻き込み
		1.5 引き込みまたは捕捉
		1.6 衝撃
		1.7 突き刺しまたは突き通し
		1.8 こすれまたは擦りむき
		1.9 高圧流体の注入または噴出
2	電気的	2.1 直接接触
		2.2 間接接触
		2.3 高電圧下の充電部に接近
		2.4 静電気
		2.5 熱放射・短絡・過負荷などから起こる溶融物の放出
3	熱的	3.1 火傷・熱傷
		3.2 作業環境を原因とする健康障害
4	騒音	
5	振動	
7	材料または物質	7.1 有害な液体，気体，ミスト，煙，及び粉じんの接触または吸入
8	人間工学的原則の無視	8.1 不自然な姿勢
		8.2 手－腕または足－脚の解剖学的観点からの不適切さ
		8.3 保護具の不使用
		8.4 不適切な局部照明

（表3の続き）

ISO14121付属書Aの危険源		危険状態
		8.6 ヒューマンエラー
		8.7 手動制御器の不適切な設計または配置
9	危険源の組み合わせ	
10	予期しない始動，予期しない超過走行／超過速度または何らかの類似不調	10.1 制御システムの故障とトラブル
11	安全関連機器の誤ったあるいは不正確な設置	11.1 ガード
		11.2 防護装置
		11.4 安全に関する記号・信号・表示
		11.5 警告表示または警報装置
		11.6 視認性
		11.7 緊急停止装置
15	留め具のエラー	
18	機械の安定性の欠如／転倒	
27	持ち上げにより付加される危険源，危険状態及び危険事象	27.1 次の事項によって起こる荷の落下，衝突，機械の転倒 ① 安定性の欠如 ② 抑制なしの負荷－過負荷－転倒モーメントの超過 ③ 制御不可能な運動の増大 ④ 予期しない／意図しない荷の移動 ⑤ 不適切な掴み装置／付属装置)
		27.2 人が負荷支持体に接近することから起こるもの
		27.4 部品の不十分な機械的強度
		27.8 組み立て／試験／使用／保守の異常状態
29	人間工学的原則の無視	29.1 運転席からの不十分な視認性

これらの表でいずれも項番「6」がないのは，該当する「放射による危険（放射線，マイクロ波等）」がこれらの機械で存在しないためである。一方，項番「10」に該当する不意作動や速度超過による危険源はどちらの機械でも存在すると考えられるが，表3では記載があるのに対し，表2では記載がない。

これは，主に各規格案が作成された時期（prEN693の初期の原案が作成された頃，表2は現在より簡単なものであった）及び規格原案作成者の考え方によるところが大きい。したがって，今後，これらの規格のJIS化を図る場合は，対象とする機械設備の危険源が網羅的に記載されているかの再検討が必要と考えられる。

4．リスク評価に関する調査及び分析

実際のリスクアセスメントでは，第2章の(1)式で述べた（危険源による傷害のひどさ）及び（傷害が起きる可能性）を評価する必要がある。表4に，この評価を実施するにあたって考慮すべき事項を示す。

この評価を実施した後に，当該機械設備のリスクの程度に応じてカテゴリを決定する。ここで，カテゴリとは，安全装置や安全制御回路に要求される故障対策の水準であり，後述するようにカテゴリBから4までの5段階がある。以下，機械設備を対象としたリスク評価の具体例を示す。

1）英国で実施されている例（表5参照）

この方法では，危害のひどさ(S)，暴露の頻度(F)及び災害発生の可能性(Q)に対して個別に数値評価を行い，その結果を数値的に加算することによって総合的にリスクを評価する[6)]。

特に，この方法では危害のひどさ(S)を重視しており，仮に当該設備によって致命傷（死亡など）を負う可能性が高いならば，暴露の頻度(F)や災害発生発生

表4　リスクの評価で考慮すべき事項の例

No.	リスク要因	考慮すべき事項	
1	傷害のひどさ	・傷害の程度	・軽い（正常回復可能），重い（正常回復不可能），死亡
		・被災した人数	・一人，複数
2	傷害が起きる可能性	人が危険源にさらされる頻度と持続時間	・危険区域への接近の必要性（運転や保守等） ・接近の方法（材料の挿入など） ・危険区域内に滞在する時間 ・接近者の数 ・接近の頻度
		危険事象の発生確率	・信頼性等のデータ ・事故履歴 ・健康障害の履歴 ・リスク比較
		危害を回避できる可能性	・運転者の特性（熟練，未熟練，無人） ・危険事象の発生速度（不意，高速，緩慢） ・リスク認識（一般情報，直接観察，表示） ・回避の人的可能性（可能，条件付き可能，不可能） ・運転経験と知識（同一機械，類似機械，未経験）

表5　英国で実施されているリスク評価の例（文献6参照）

危害のひどさ（S）

程　度	点数
致命傷	１０
重傷	6
ひどいケガ	3
軽傷	1

暴露の頻度（F）

程　度	点数
頻繁	4
時々	2
ほとんどない	1

災害発生の可能性（Q）

程　度	点数
確実である	6
可能性が高い	4
可能性がある	2
ほとんどない	1

リスクの評価値＝Ｓ＋Ｆ＋Ｑ

区　分	リスクの評価値	リスクのレベル
中度から程度の危険	１～７	レベル1
高度の危険	８～１０	レベル2
	１１～１３	レベル3
	１４～２０	レベル4

の可能性(Q)の如何にかかわらず，高度の危険となる。

2）ISO13849に示された例（図5参照）

これは，カテゴリの決定法に関連した規格であるISO13849 [7] に示された例である。**表6**に，カテゴリの決定法を示す。この方法では，図5に示す分岐図によってリスクを評価する。

この分岐は，数値評価でなく，危害のひどさ(S)では軽傷(S1)または重傷(S2)，暴露の頻度(F)では希れ(F1)または頻繁(F2)，災害発生の可能性(Q)では可能性大(P1)または可能性小(P2)の二者択一であることに特徴がある。

3）米国の産業用ロボットの安全規格に示されている例（表7参照）

これは，米国の産業用ロボットの安全規格であるANSI/RIA15.06 [8] に記載された方法である。

この方法では，表7に示すマトリックス形式でリスク評価を行うことに特徴がある。

この方法も，図5に示す方法と同じく二者択一方式であり，数値評価までは行っていない。

4）ドイツで実施されている例（表8参照）

これは，一般の機械設備だけでなく，化学プラントのように，いったん災害が発生するときわめて影響の大きい設備などへの適用を考慮した方法[9]である。

表６　カテゴリの決定法（文献７参照）

故障対策の水準	電気回路（安全装置や安全制御回路）で要求される故障対策
カテゴリーB	電気回路上で安全方策が実施されていない。
カテゴリー１	電気回路上の安全方策は信頼性に依存している。
カテゴリー２	機械の起動時に出力がオフとなることを確認するために、電気回路上で自動的にチェックを実施する。機械の起動操作回数が少ないとあまり効果がない。
カテゴリー３	カテゴリー２の電気回路を二重系にする。二重系の電気回路のどちらに故障が起こっても機械が停止するように構成する。
カテゴリー４	カテゴリー２またはカテゴリー３の電気回路に故障が起きたときは、直ちに機械を停止できること。このためには、自動チエックは起動時だけでなく、もっと頻繁に実施されなければならない。故障を発見できない場合、その故障が危険側故障とならないこと。

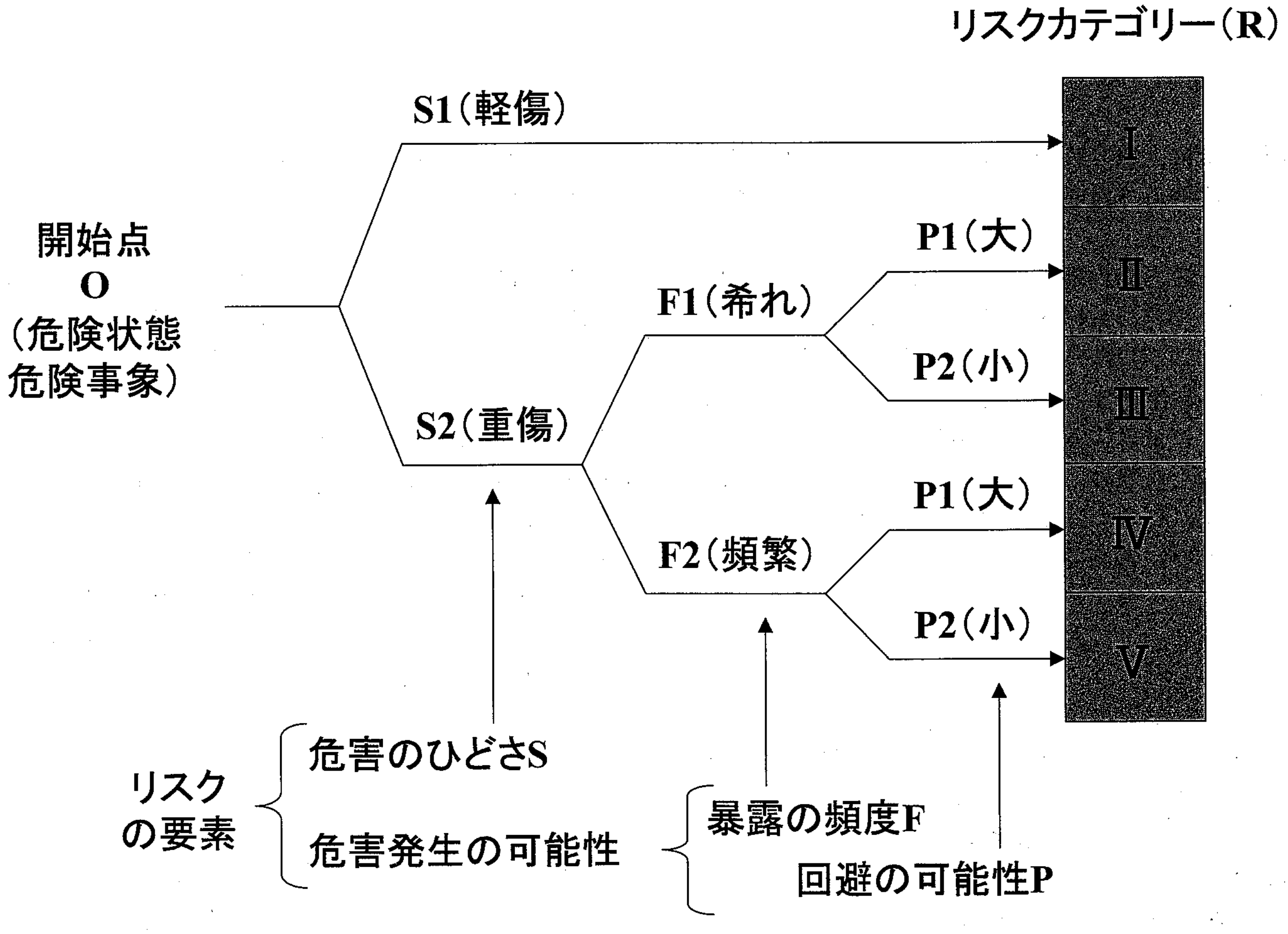


図５ ISO13849に示されたリスク評価の例（文献７参照）

表7　米国の産業用ロボット規格に示されたリスク評価の例（文献8参照）

傷害のひどさ	暴露の頻度	回避の可能性	リスクレベルの例
S 2 重傷	E 2 頻繁	A 2（不可能）	V
		A 1（可能）	Ⅳ
	E 1 希れ	A 2（不可能）	Ⅲ
		A 1（可能）	Ⅱ
S 1 軽傷	E 2 頻繁	A 2（不可能）	Ⅰ
		A 1（可能）	
	E 1 希れ	A 2（不可能）	
		A 1（可能）	

注）リスクレベルは，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴの順に高くなる。

この方法では，表6の数値評価をさらに詳細化するとともに，危険にさらされる人数などについても考慮している。

以上のような方法の他に，最近ではリスクの数値化に重点を置いた方法も検討されるようになってきている。しかし，ここで言う数値化はあくまでも便宜的なものであり，科学的または統計的な裏付けがあるとは限らないことに留意する必要がある。したがって，一般の機械設備を対象としたリスクアセスメントでは，過度の数値化にこだわるよりは，危険源分析を中心とした運用が重要と考える。

5．おわりに

以上，リスクアセスメントを実施する際の重要事項として，ISO12100 に規定されたリスク低減戦略の概要を示した。また，実際の機械設備を対象とした危険源リスト及びリスク評価の例を示した。

この概要は，以下の通りである。

1）今後の我が国で必須の危険源リストとして，ISO14121 の付属書 A に記載されたリストを翻訳して示した。これは，従来の「事故の型」に代わるものとして我が国でも広く活用されていくと考えられる。

2）機械設備を対象としたリスク評価の例として，国際的な安全規格である ISO13849 に示された手法だけでなく，英国，米国，ドイツなどで広く利用されている手法をまとめて示した。

以上の資料は，現在労働省が策定を進めている「機械の包括的安全基準」の検討作業などにも活用できると考えられる。

来るべき 21 世紀には，国際的な安全規格に基づくリスクアセスメントの実施が，我が国の産業現場でもきわめて重要になると考えられる。本報が，機械設備の安全化に取り組む人々の今後の参考となることを期待する。

［補足1］

許容可能なリスクについては，安全規格を作成する際の国際的なガイドラインである ISO/IEC ガイド 51 (!997 年版）の中[10]で，「社会の現在の価値観に基づいて所定の状況の中で受け入れられるリスク」と定義している。

表8　ドイツで実施されているリスク評価の例（文献9参照）

リスクのレベル		ポイント
レベル1	取るに足り無い（健康と安全にごくわずかなリスクしか呈しない）	０－５
レベル2	程度は低いが重大（安全の制御手段を必要とする危険を含む）	５－５０
レベル3	程度が高い（緊急な安全制御手段の実施を要する潜在的な危険を有する）	５０－５００
レベル4	容認できない（この状態での継続的な運転は容認できない）	５００以上

発生の可能性（ＬＯ）	ポイント
ほとんど起こり得ないー あるとすれば右の数値以下の割合（最小の極限状況）	０．０３３
ほとんど起こりそうにないーしかし起こることも考えられる	１
起こりそうにないーしかし起こり得る	１．５
起こり得るーしかしほとんどない	２
場合によっては起こり得るー起こり得る	５
多分起こるー驚くに値しない	８
起こりやすいー予期した時だけ	１０
必ず起こるー疑いなく	１５

危険にさらされる頻度（ＦＥ）	ポイント
毎年	０．５
毎月	１
毎週	１．５
毎日	２．５
毎時	４
常時	５

起こり得る災害のひどさ（ＤＰＨ），最悪の場合を考慮して	ポイント
ひっかき傷／打撲傷	０．１
裂傷／軽傷	０．５
小さな骨折または軽い病気（一時的）	２
大きな骨折または大病（一時的）	４
一本の手足，眼球および聴力の損失（永久）	６
両手足，両眼球の損失（永久）	１０
致命傷（死亡）	１５

危険にさらされる人数（ＮＰ）	ポイント
１－２人	１
３－７人	２
８－１５人	４
１６－５０人	８
５０人以上	１２

リスクレベル＝ＬＯ*ＦＥ*ＤＰＨ*ＮＰ

また，このガイドでは「許容可能なリスクは，絶対安全の理想と，製品，工程またはサービスによって満たされるべき欲求と，ユーザーの利益，目的適合性，費用効果の優秀性及び関連する社会の慣行との間のバランスの結果である」と説明し，社会的な観点から決定されることを明確にしている。

参考文献

1) ISO/CD12100 − 1（機械類の安全性−設計のための一般原則）の翻訳，日本機械工業連合会 (1998)
2) ISO14121（機械類の安全性−リスクアセスメントの原則）の翻訳，日本機械工業連合会 (1998)
3) 英国安全規格 BS5304 の翻訳，日本規格協会 (1988)
4) 欧州安全規格，prEN693，Machine tools − Safety − Hydraulic Presses (1997)
5) 欧州安全規格，prEN12999，Crane − Loader Cranes (1999)
6) 英国 EJA 社の社内資料より提供
7) ISO/DIS13849 の翻訳，制御システムの安全関連部，日本規格協会 (1998)
8) 米国産業用ロボット規格（ANSI/RIA15.06）の翻訳，日本ロボット工業会 (1999)
9) ドイツピルツ社の社内資料より提供
10) ISO/IEC ガイド 51 の翻訳，日本規格協会 (1997)

（平成11年1月14日受理）